



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Re the Application of

Hiroyuki MITSU et al.

Group Art Unit: 2633.

Application No.: 10/715,436

Filed: November 19, 2003

Docket No.: 117805

For: OPTICAL PULSE TIMING DETECTION APPARATUS, OPTICAL PULSE TIMING DETECTION METHOD, OPTICAL PULSE TIMING ADJUSTMENT APPARATUS, AND OPTICAL PULSE TIMING ADJUSTMENT METHOD

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified patent application and the priority provided in 35 U.S.C. §119 is hereby claimed:

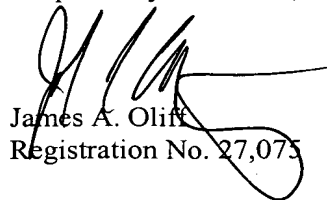
Japanese Patent Application No. 2002-340057 filed November 22, 2002

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application:

☒ is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 U.S.C. §119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,



James A. Oliff
Registration No. 27,073

Joel S. Armstrong
Registration No. 36,430

JAO:JSA/al

Date: March 31, 2004

OLIFF & BERRIDGE, PLC
P.O. Box 19928
Alexandria, Virginia 22320
Telephone: (703) 836-6400

**DEPOSIT ACCOUNT USE
AUTHORIZATION**
Please grant any extension
necessary for entry;
Charge any fee due to our
Deposit Account No. 15-0461

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年11月22日
Date of Application:

出願番号 特願2002-340057
Application Number:

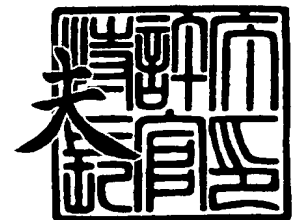
[ST. 10/C]: [JP 2002-340057]

出願人 富士ゼロックス株式会社
Applicant(s): 独立行政法人通信総合研究所

2004年 1月 9日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3110148

【書類名】 特許願

【整理番号】 FE02-01770

【提出日】 平成14年11月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04J 14/08

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 三津 博之

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 古木 真

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 岩佐 泉

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 佐藤 康郊

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 辰浦 智

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡中井町境 4 3 0 グリーンテクなかい
富士ゼロックス株式会社内

【氏名】 田 民権

【発明者】

【住所又は居所】 東京都小金井市貫井北町 4 - 2 - 1 独立行政法人通信
総合研究所内

【氏名】 成瀬 誠

【特許出願人】

【持分】 001/002

【識別番号】 000005496

【氏名又は名称】 富士ゼロックス株式会社

【特許出願人】

【持分】 001/002

【識別番号】 301022471

【氏名又は名称】 独立行政法人 通信総合研究所

【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】

【識別番号】 100085279

【弁理士】

【氏名又は名称】 西元 勝一

【電話番号】 03-3357-5171

【選任した代理人】**【識別番号】** 100099025**【弁理士】****【氏名又は名称】** 福田 浩志**【電話番号】** 03-3357-5171**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 006839**【納付金額】** 10,500円**【その他】**

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成 1 4 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「フェムト秒テクノロジーの研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるもの）

【提出物件の目録】**【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9503326**【包括委任状番号】** 9503325**【包括委任状番号】** 9503322**【包括委任状番号】** 9503324**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光パルスタイミング検出装置、光パルスタイミング検出方法、
光パルスタイミング調整装置、及び光パルスタイミング調整方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、

複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、

前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算するタイミング演算部と、

を備えた光パルスタイミング検出装置。

【請求項 2】 前記光スイッチは、入射する信号光パルスの進行方向に対して垂直に配置されると共に、前記制御光パルスの進行方向に対し所定角度傾けて配置された請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 3】 前記光スイッチは、前記制御光パルスの進行方向に対して垂直に配置されると共に、入射する信号光パルスの進行方向に対し所定角度傾けて配置された請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 4】 前記制御光パルスを、前記信号光パルスの入射タイミングに同期して前記光スイッチに照射する請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 5】 前記光検出器を、フォトダイオードの表面抵抗を利用したスポット光の位置センサで構成した請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 6】 前記光検出器を、CCDカメラで構成した請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 7】 前記光検出器を、フォトディテクタアレイで構成した請求項 1

乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 8】前記光スイッチと前記光検出器との間に、拡大光学系又は縮小光学系を配置した請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 9】前記光スイッチは、光照射により吸収係数が変化し且つ緩和時間が短い非線形光学材料を含む機能性薄膜を備えた請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 10】前記光スイッチは、前記非線形光学材料の過飽和吸収を利用してオン状態の領域を形成する請求項 9 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 11】前記光スイッチは、前記非線形光学材料の光カー効果を利用してオン状態の領域を形成する請求項 9 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 12】前記機能性薄膜が、色素分子膜である請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 13】前記色素分子膜が、スクエアリリウム色素の J-会合体で構成された請求項 12 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 14】前記光検出器の出力信号に対して信号処理を施す信号処理装置を更に備えた請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 15】前記信号処理によって、前記光検出器の空間解像度よりも細かい分解能で光パルスの空間位置を検出する請求項 14 に記載の光パルスタイミング検出装置。

【請求項 16】制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成される光スイッチを用い、該光スイッチに制御光パルスを照射して、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替え、

前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを、複数の画素を備えた光検出器の前記領域に対応する画素で検出し、

前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、

該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算する、
光パルスタイミング検出方法。

【請求項 17】 前記光検出器の出力信号に対して信号処理を施す請求項 16 に記載の光パルスタイミング検出方法。

【請求項 18】 前記信号処理によって、前記光検出器の空間解像度よりも細かい分解能で光パルスの空間位置を検出する請求項 17 に記載の光パルスタイミング検出方法。

【請求項 19】 制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、

複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、

前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算するタイミング演算部と、

前記タイミング演算部で演算されたタイミングに基づいて、後続する信号光パルスを遅延させる遅延装置と、

を備え、

信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを調整する光パルスタイミング調整装置。

【請求項 20】 前記光検出器の出力信号に対して信号処理を施す請求項 19 に記載の光パルスタイミング調整装置。

【請求項 21】 前記信号処理によって、前記光検出器の空間解像度よりも細かい分解能で光パルスの空間位置を検出する請求項 20 に記載の光パルスタイミング調整装置。

【請求項 22】 前記遅延装置は、後続する信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングが所望のタイミングとなるように、後続する信号光パルスを遅

延させる請求項 19 乃至 21 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング調整装置。

【請求項 23】 制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する複数種類の信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記複数種類の信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、

複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された複数種類の信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、

前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算するタイミング演算部と、

前記信号光パルスの種類毎に設けられ、前記タイミング演算部で演算されたタイミングに基づいて、複数種類の信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングが所定のタイミングとなるように、後続する信号光パルスを遅延させる複数の遅延装置と、

を備え、

複数種類の信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを各々調整する光パルスタイミング調整装置。

【請求項 24】 前記遅延装置は、前記光スイッチまでの信号光パルスの光路長を変化させて、後続する信号光パルスを遅延させる請求項 19 乃至 23 のいずれか 1 項に記載の光パルスタイミング調整装置。

【請求項 25】 制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成される光スイッチを用い、該光スイッチに制御光パルスを照射して、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替え、

前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを、複数の画素を備えた光検出器の前記領域に対応する画素で検出し、

前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、

該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算し、

演算されたタイミングに基づいて、後続する信号光パルスを遅延させて、信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを調整する、

光パルスタイミング調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光パルスタイミング検出装置、光パルスタイミング検出方法、光パルスタイミング調整装置、及び光パルスタイミング調整方法にかかり、特に、光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で検出することができる光パルスタイミング検出装置及び光パルスタイミング検出方法と、その検出結果に基づいて光パルスまたはパルス列のタイミングを調整する光パルスタイミング調整装置及び光パルスタイミング調整方法と、に関する。即ち、本発明は、超高速光信号の計測技術、及び光時分割多重等の超高速光通信技術におけるジッター・スキューの計測・補償方式に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光パルスを用いた信号処理、信号伝送、計測においては、光パルスの時間的ゆらぎが、信号対雑音比や分解能を劣化させる大きな要因となっている。一方で、光パルスの計測においては、微小な時間差を電氣的に検出するのは非常に難しいことが知られている。例えば、超高速の光時分割多重方式（OTDM: Optical Time Division Multiplexing）では、パルス間隔が1ピコ秒（ps: 10^{-12} 秒）以下となり、光電子変換を伴う光電子技術では原理的に光パルスのタイミングゆらぎを検出することができない。しかしながら、このような高速の光現象の計測と制御は、高速の光パルス伝送を実現するには不可欠な技術である。

【0003】

現在、テラビット級の超高速OTDM技術の実験的検証が行われている。この実験的検証では、40ギガビット/秒（Gbit/s）又は10Gbit/sの

パルス光源（例えば、モードロックレーザ）を用い、このパルス光源と光変調器との組み合わせによって 40 Gbit/s 又は 10 Gbit/s のビット列を生成し、 N 個のパルス光源からのビット列の各々を、光導波路等により適当な時間差を付けつつ複製し、合成することによって、元のパルス光源の N 倍のビットレートで多重化する場合が多い。

【0004】

分散補償や光伝送の基本的性能の検証を目的とする場合には、上記の構成でも対応可能である。しかしながら、超高速 OTDM の各タイムスロットを別々の信号源からの情報によって構成するためには、複数の信号源を微少な時間差を付けつつ多重化する技術を確立する必要がある。例えば、図 15 に示すように、信号源 1 ～ 信号源 4 からの光パルスをマルチプレクサ MUX で多重化して OTDM 信号を得る場合には、個別の信号源又はその間を結ぶ各種システムは、それぞれ様々な要因による擾乱を受けているため、それぞれの信号源からの光パルスを、OTDM 信号の適当なタイムスロット A ～ D にいかに適正に組み込むかが課題となる。しかも、超高速 OTDM では、そのタイムスロットはピコ秒程度しかなく、300 フェムト秒程度のジッターしか許容されない。このようにジッターを厳密に補正しなければならない場合、ジッターをリアルタイムに計測して補正する必要がある。

【0005】

従来、この光パルスの時間的ゆらぎやズレを検出する方法としては、F. Salin らによって提案された非線形光学結晶を用いた和周波・差周波を利用する方法が一般的に知られている（例えば、非特許文献 1 参照）。この方法では、二つの光パルスを時間的な位置関係が一部重なるように非線形光学結晶に入射させた際に、その周波数の和（または差）に相当する和周波光が発生する。その和周波光を受信器で受信し、最も光強度が強くなった点を二つの光パルスの時間的位置が合致している点とし、その点での強度と時間的位置がずれた点での強度との差に基づいて、合致している点からの時間差、即ち、光パルスの時間的ズレを計算する。

【0006】

また、非特許文献1記載の方法を応用して、和周波光を観測する和周波光受信器を備えた高速光パルスのタイミング検出回路も提案されている（例えば、特許文献1参照）。このタイミング検出回路では、和周波光受信器の受信信号の増減を信号識別回路で検出し、この検出結果を遅延制御用信号として光遅延制御回路（光路長制御器）へフィードバックすることで、最適遅延位置に光パルスタイミングを調整制御している。

【0007】

なお、和周波光を発生する非線形光学結晶に代えて、二光子吸収電力を発生する受光素子を用いることもできる。二光子吸収電力を利用する際は、パルスの重なり部分に発生する二光子吸収電力の増減を測定することによって時間差を計算している。

【0008】

【非特許文献1】

F.Salin, P.Georges, G.Roger, and A.Brun, "Single-shot measurement of a 52-fs pulse" Applied Optics Vol.26 No.21 (1987)

【特許文献1】

特開 2001-53684 号公報（図4、段落0063～段落0064）

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、和（差）周波や二光子吸収電力を用いた光パルスタイミング検出方法は、リアルタイムの計測には不向きである。即ち、和（差）周波や二光子吸収電圧を用いた光パルスタイミング検出方法では、まず、ピークの位置（パルスの重なり）を検出し、その位置から光強度（二光子吸収の場合は電力）の差によって時間差を計測しているため、一見どの程度の時間差がついているのか分かり難く、計測に手間が掛かり過ぎる。

【0010】

また、和（差）周波を用いた光パルスタイミング検出方法では、基本的に和（差）周波光が被検出光と同軸ではなく、光パルスの波長が変化すると結晶の角度・検出器の角度を変える必要があり調整が煩雑であるといった問題や、非線形光



学効果を用いているため強度の弱い光パルスの場合は検出が難しいといった問題がある。

【0011】

更に、二光子吸収電力を利用した光パルスタイミング検出方法では、ある程度のオン・オフ比を得るためには、被検出光パルス及び基準光パルスともに非常に強度の強い光パルスを必要とし、それゆえバックグラウンド（ノイズ）も大きくなるという問題があった。

【0012】

本発明は上記の問題を解決すべく成されたものであり、本発明の目的は、光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で且つリアルタイムに検出することができる光パルスタイミング検出装置及び光パルスタイミング検出方法を提供することにある。また、本発明の他の目的は、光パルスまたはパルス列のタイミングをフェムト秒オーダーの時間分解能で且つリアルタイムに調整することができる光パルスタイミング調整装置及び光パルスタイミング調整方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

(光パルスタイミング検出装置)

上記目的を達成するために本発明の光パルスタイミング検出装置は、制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算するタイミング演算部と、を備えたことを特徴としている。

【0014】

本発明の光パルスタイミング検出装置では、制御光パルスの照射時に照射部分

にのみオン状態の領域が形成される光スイッチを用い、該光スイッチに制御光パルス照射して、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替える。前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスは、複数の画素を備えた光検出器の前記領域に対応する画素で検出される。このように光検出器の画素と前記光スイッチの領域とを対応づけておくことで、画素の位置情報から該画素に対応する領域を特定することができる。

【0015】

タイミング演算部は、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算する。即ち、所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報が取得されると、この画素の位置情報から該画素に対応する時刻を特定することができる。そして、この領域がオン状態にされた時刻が分かれば、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを求めることができる。このように、タイミング演算部では複雑な演算を行わないので、リアルタイムでの計測が可能になる。

【0016】

ここで、信号光パルスが光スイッチに到達するタイミングの検出精度は、光スイッチの切り替え速度に依存する。本発明では、制御光パルスの照射により光スイッチの切り替えを行っているので、フェムト秒オーダーの制御光パルスでオンオフ動作させることができる。従って、光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で検出することができる。

【0017】

上記の光パルスタイミング検出装置において、光スイッチを、入射する信号光パルスの進行方向に対して垂直に配置すると共に、前記制御光パルスの進行方向に対し所定角度傾けて配置することができる。この場合、制御光パルスにより光スイッチが所定方向に走査されて、あたかもスリットが移動するようにオン状態の領域が順次形成される。また、光スイッチを傾ける角度を適宜変更することに

よって、タイミング検出の時間分解能とダイナミックレンジとを調整することができる。

【0018】

また、前記制御光パルスの進行方向に対して垂直に配置すると共に、入射する信号光パルスの進行方向に対し所定角度傾けて配置してもよい。この場合、光スイッチの照射領域全体が、制御光パルスにより所定の時間間隔でオン状態とされる。なお、制御光パルスは、前記信号光パルスの入射タイミングに同期して前記光スイッチに照射するのが好ましい。また、この場合も、光スイッチを傾ける角度を適宜変更することによって、タイミング検出の時間分解能とダイナミックレンジとを調整することができる。

【0019】

上記の光パルスタイミング検出装置において、前記光検出器としては、例えば、フォトダイオードの表面抵抗を利用したスポット光の位置センサ、CCDカメラ、又はフォトディテクタアレイを用いることができる。また、この光検出器と光スイッチとの間には、拡大光学系又は縮小光学系を配置してもよい。光検出器上での結像倍率を適宜変更することによって、タイミング検出の時間分解能とダイナミックレンジを調整することができる。

【0020】

前記光スイッチとしては、光照射により吸収係数が変化し且つ緩和時間が短い非線形光学材料を含む機能性薄膜を備えた光スイッチを用いることができる。この光スイッチでは、前記非線形光学材料の過飽和吸収を利用してオン状態の領域を形成してもよく、前記非線形光学材料の光カー効果を利用してオン状態の領域を形成してもよい。また、前記機能性薄膜としては、色素分子膜が好ましく、スクエアリリウム色素のJ-会合体で構成された色素分子膜が特に好ましい。

【0021】

上記の光パルスタイミング検出装置では、光検出器の出力を元に信号処理を施す信号処理装置を更に設けることができる。例えば、CCDあるいはフォトディテクタアレイの複数画素に対して、一定の形状の信号パルスが計測されるとき、検出される出力信号の重心位置を計算することによって、信号光パルスの存在位

置をサブピクセルの精度で検出することが可能になる。

【0022】

(光パルスタイミング検出方法)

上記目的を達成するために本発明の光パルスタイミング検出方法は、制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成される光スイッチを用い、該光スイッチに制御光パルスを照射して、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替え、前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを、複数の画素を備えた光検出器の前記領域に対応する画素で検出し、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算する、ことを特徴とする。

【0023】

上記の光パルスタイミング検出方法では、光検出器の出力を元に信号処理を施すことができる。例えば、CCDあるいはフォトディテクタアレイの複数画素に対して、一定の形状の信号パルスが計測されるとき、検出される出力信号の重心位置を計算することによって、信号光パルスの存在位置をサブピクセルの精度で検出することが可能になる。

【0024】

(光パルスタイミング調整装置)

上記目的を達成するために本発明の光パルスタイミング調整装置は、制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミン

グを演算するタイミング演算部と、前記タイミング演算部で演算されたタイミングに基づいて、後続する信号光パルスを遅延させる遅延装置と、を備え、信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを調整することを特徴とする。

【0025】

本発明の光パルスタイミング調整装置は、遅延装置により、タイミング演算部で演算されたタイミングに基づいて、後続する信号光パルスを遅延させて、信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを調整する。この調整装置では、上述した光パルスタイミング検出装置の構成を備えることで、光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で検出することができるので、光パルスまたはパルス列のタイミングをフェムト秒オーダーの時間分解能で調整することができる。また、タイミング演算部ではリアルタイムでタイミングを演算することができるので、これに基づいてリアルタイムで到達タイミングを調整することができる。

【0026】

上記の光パルスタイミング調整装置において、前記遅延装置は、後続する信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングが所望のタイミングとなるように、後続する信号光パルスを遅延させるように構成することができる。また、前記遅延装置としては、前記光スイッチまでの信号光パルスの光路長を変化させて、後続する信号光パルスを遅延させる装置を用いることができる。

【0027】

また、複数種類の信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを各々調整することもできる。例えば、光パルスタイミング調整装置を、制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成され、入射する複数種類の信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記複数種類の信号光パルスの光路を空間的に切替える光スイッチと、複数の画素を備え且つ前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された複数種類の信号光パルスを該領域に対応する画素で検出する光検出器と、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光ス

イチに到達したタイミングを演算するタイミング演算部と、前記信号光パルスの種類毎に設けられ、前記タイミング演算部で演算されたタイミングに基づいて、複数種類の信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングが所定のタイミングとなるように、後続する信号光パルスを遅延させる複数の遅延装置と、を備えるように構成することができる。

【0028】

(光パルスタイミング調整方法)

上記目的を達成するために本発明の光パルスタイミング調整方法は、制御光パルスの照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成される光スイッチを用い、該光スイッチに制御光パルスを照射して、入射する信号光パルスを前記オン状態の領域で透過又は反射させて前記信号光パルスの光路を空間的に切替え、前記光スイッチのオン状態の領域で透過又は反射された信号光パルスを、複数の画素を備えた光検出器の前記領域に対応する画素で検出し、前記光検出器の検出結果に基づいて所定の信号光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、該画素の位置情報と該画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが前記光スイッチに到達したタイミングを演算し、演算されたタイミングに基づいて、後続する信号光パルスを遅延させて、信号光パルスの前記光スイッチへの到達タイミングを調整する、ことを特徴としている。

【0029】

上記の光パルスタイミング調整方法では、光検出器の出力を元に信号処理を施すことができる。例えば、CCDあるいはフォトディテクタアレイの複数画素に対して、一定の形状の信号パルスが計測されるとき、検出される出力信号の重心位置を計算することによって、信号光パルスの存在位置をサブピクセルの精度で検出することが可能になる。

【0030】

なお、本発明の光パルスタイミング検出方法は、レーザーパルスの比較に基づく光パルス計測装置、高速の光オシロスコープを用いた光パルス計測装置にも使用可能である。

【0031】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

(第1の実施の形態)**[タイミング検出装置の構成]**

第1の実施の形態に係るタイミング検出装置は、図1に示すように、信号光1'を伝送する光ファイバなどの光導波路10と、該光導波路10から出射された信号光1'を拡大して信号光パルス1A～1Fの列からなる信号光1とする光学系20と、互いに独立した光シャッター部として機能する複数の領域 $W_p \sim W_u$ を備え、制御光2の照射による該光シャッター部のオンオフ動作により信号光1から出力光パルス3Au～3Fp（出力光3）を切り出す透過型の光スイッチ30と、光スイッチ30から出射された出力光3を検出する光検出器40と、光検出器40での検出結果に基づいて信号光パルス1A～1Fの光スイッチ30への到達タイミングを演算するタイミング演算部100と、を備えている。

【0032】

光ファイバなどの光導波路10中に伝送される信号光1'は、複数チャンネル（図1では、6チャンネル）の信号光が時間的にシリアルに多重化された、ビットレートが1テラビット/秒（Tbit/s）、パルス時間間隔が1psのものである。

【0033】

光学系20は、複数のレンズを組み合わせて構成され、入射された信号光1'を、進行方向に対して垂直な面方向に波面が広げられた、各チャンネルの信号光パルス1A～1Fの列からなる信号光1に変換する。信号光パルスの時間間隔は1psであるので、空間的な距離間隔は300 μ mとなる。

【0034】

透過型の光スイッチ30は、長尺状に構成され、その長さ方向が信号光1の進行方向に対して垂直になるように配置されている。この配置により、光スイッチ30の長さ方向に所定幅Wの広がりを持つ信号光1を、その所定幅Wに渡って光スイッチ30に入射させると共に、制御光2を、その進行方向を光スイッチ30の長さ方向に対して傾けて、所定幅Wに渡って光スイッチ30に入射させる。

なお、図1では、制御光2を信号光1の出射側から光スイッチ30に入射させているが、制御光2を信号光1の入射側から光スイッチ30に入射させてもよい。

【0035】

制御光2は、信号光1と同様に進行方向に対して垂直な面方向に波面が広げられた光であり、信号光パルス1A～1Fの1組につき1つの制御光パルス2aを含むパルス列から構成されている。また、制御光2は信号光1に同期している。信号光1'には、信号光パルス1A～1Fの列の始まりを示す情報が挿入され、これらの情報から、信号光1に対して所定の時間関係で信号光1に同期した制御光2を形成することができる。

【0036】

また、光スイッチ30の領域 $W_p \sim W_u$ は、制御光2が照射されるか否かにより吸収係数（吸光度）が変化し且つ緩和時間が短い非線形光学材料によって形成されており、制御光2が照射された瞬間だけ透過率が変化して信号光1を所定値以上の透過率で透過させる光シャッター部として機能する。即ち、光スイッチ30は、非線形光学材料の過飽和吸収を利用してオンオフ動作を行う。光スイッチ30のオンオフ動作は、総ての信号光パルスに同期している必要はなく、必要に応じて選択された信号光パルスに同期していればよい。なお、光スイッチ30の詳細な構造については後述する。

【0037】

光検出器40は、多数の画素が1次元アレイ状又は2次元アレイ状に配列されたCCDカメラやフォトディテクタアレイ、フォトダイオードの表面抵抗を利用したスポット光の位置センサ（ポジション・センシティブ・ダイオード）などの光検出素子で構成されており、その各画素が信号光1の各空間位置部分1p～1uの光路上に位置するように配置されている。

【0038】

タイミング演算部100は、CPU、ROM、RAM、入出力部等を備えた通常のパーソナル・コンピュータで構成されている。

【0039】

[光スイッチのシャッター機能]

次に、光スイッチ 30 のシャッター機能について説明する。図 1 に示す装置において、図 2 (A) に示すように、信号光パルス 1 A が光スイッチ 30 に到達した時点で、制御光パルス 2 a が光スイッチ 30 の領域 W_u に到達するように、制御光 2 を信号光 1 に対して同期させる。これにより、信号光パルス 1 A が光スイッチ 30 に到達した時点で、光スイッチ 30 の領域 W_u が透過状態とされ、信号光パルス 1 A の空間位置部分 1 u が領域 W_u を透過して、図 2 (B) に示すように、出力光パルス 3 A u として切り出される。

【0040】

次に、図 2 (B) に示すように、信号光パルス 1 B が光スイッチ 30 に到達すると、制御光パルス 2 a が光スイッチ 30 の領域 W_t に到達して、領域 W_t が透過状態とされ、信号光パルス 1 B の空間位置部分 1 t が領域 W_t を透過して、図 2 (C) に示すように、出力光パルス 3 B t として切り出される。

【0041】

次に、図 2 (C) に示すように、信号光パルス 1 C が光スイッチ 30 に到達すると、制御光パルス 2 a が光スイッチ 30 の領域 W_s に到達して、領域 W_s が透過状態とされ、信号光パルス 1 C の空間位置部分 1 s が領域 W_s を透過して、図 1 に示したように、出力光パルス 3 C s として切り出される。

【0042】

以下、同様に、信号光パルス 1 A の空間位置部分 1 u、信号光パルス 1 B の空間位置部分 1 t、信号光パルス 1 C の空間位置部分 1 s、信号光パルス 1 D の空間位置部分 1 r、信号光パルス 1 E の空間位置部分 1 q、信号光パルス 1 F の空間位置部分 1 p が、それぞれ出力光パルス 3 A u、3 B t、3 C s、3 D r、3 E q、3 F p として順次切り出され、光検出器 40 の対応する画素で順次検出される。

【0043】

即ち、この光スイッチ 30 では、図 2 (D) に示すように、制御光 2 の伝搬に伴いあたかもスリット部 S L が光スイッチ 30 の長さ方向に移動するように、光スイッチ 30 の複数の領域 $W_p \sim W_u$ が順次制御光と交差して透過状態とされ、信号光パルス 1 A ~ 1 F が光スイッチ 30 に到達したときに透過状態になる領域

に対応する空間位置部分が切り出される。

【0044】

[透過型の光スイッチの具体例]

次に、透過型の光スイッチ30の具体例について説明する。本発明者等は先に有機色素膜を用いた平面型の光-光スイッチを提案している（特開平11-15031号公報）。この光-光スイッチを、上記の光スイッチ30として好適に使用することができる。

【0045】

この光-光スイッチは、図3に示すように、石英基板31上に、フェムト秒オーダーで可飽和吸収を示す機能性薄膜32を形成し、その機能性薄膜32上に、アルミニウムの蒸着およびエッチングにより、遮光層33を所定パターンに形成して、機能性薄膜32の遮光層33で覆われていない部分34を、互いに独立の複数の光シャッタ部として機能させるものである。

【0046】

機能性薄膜32としては、AlP_o-F（フルオロアルミニウムフタロシアニン）、ポリジアセチレン、ポリチオフエンなどの π 共役系高分子、スクエアリウムなどの色素会合体、C₆₀薄膜などを用いることができる。機能性薄膜32をこれら有機材料で構成することにより、膜厚の制御が容易になり、光スイッチの大面积化が可能となる。これらの中でも、スクエアリウム色素の色素分子膜が好ましい。スクエアリウム色素の色素分子膜は、そのJ-会合体を用いることで効率良くスイッチング動作を行うことができる。

【0047】

なお、上記の光スイッチの製造方法は、特開平11-15031号公報に記載されている。

【0048】

[タイミング検出装置の動作]

次に、タイミング検出装置の動作について説明する。

【0049】

信号光1を、所定幅Wに渡って光スイッチ30に入射させるとともに、制御光

2を、その進行方向を光スイッチ30の長さ方向に対して傾けて、所定幅Wに渡って光スイッチ30に入射させる。

【0050】

但し、信号光パルス1Aが領域 W_u のみから、信号光パルス1Bが領域 W_t のみから、というように、信号光パルス1A～1Fが、光スイッチ30の対応する領域 $W_u \sim W_p$ のみから、空間的に分離されて切り出されるように、制御光2の広げられた波面の光スイッチ30に対する傾斜による、制御光パルス2aの領域 $W_u \sim W_p$ への到達時間の差を、信号光パルスの時間間隔と等しくするとともに、制御光パルス2aの時間幅を、信号光パルスの時間間隔より十分短くする。

【0051】

上述した通り、信号光パルス1Aの空間位置部分1u、信号光パルス1Bの空間位置部分1t、信号光パルス1Cの空間位置部分1s、信号光パルス1Dの空間位置部分1r、信号光パルス1Eの空間位置部分1q、信号光パルス1Fの空間位置部分1pが、それぞれ出力光パルス3Au, 3Bt, 3Cs, 3Dr, 3Eq, 3Fpとして順次、切り出される。

【0052】

次に、出力光パルス3Au～3Fpの各々が、光検出器40の対応する画素で順次検出される。光検出器40は、出力光パルス3Au～3Fpを検出した画素の位置情報をタイミング演算部100に出力する。

【0053】

次に、タイミング演算部100は、入力された位置情報から、出力光パルス3Au～3Fpを検出した画素の位置座標を算出する。既に説明した通り、光検出器40の各画素は、信号光1の各空間位置部分1p～1uの光路上に位置するように配置されており、検出した画素の位置座標から信号光1が光スイッチ30を通過した位置（スリット位置）を特定することができる。この関係に基づいて、検出した画素の位置座標から、信号光パルス1A～1Fが光スイッチ30の対応する領域 $W_u \sim W_p$ へ到達するタイミングを演算する。即ち、信号光1の光パルスタイミング（パルス列の時間差）を検出する。

【0054】

空間位置を検出する光検出器として、CCDやフォトディテクタアレイを用い、信号光パルスが複数の画素にまたがるように検出されるとき、各画素で検出される光量に基づいて重心検出等の演算を施すことにより、パルスの到着タイミングを、光検出器の空間解像度よりも細かい分解能で検出することができる。

【0055】

[タイミングの演算]

次に、図4を参照して、上記のタイミング演算部100で実施されるタイミングの演算方法について説明する。

【0056】

光検出器40において最初の出力光パルス3Auが検出された画素の位置座標を原点とし、次の出力光パルス3Btが検出された画素の位置座標をX(m)とし、スリットSLの移動速度をV(m/s)とすると、光スイッチ30に信号光パルス1Aが到達してから次の信号光パルス1Bが到達するまでの時間tは下記式で表される。

【0057】

【数1】

$$t = \frac{X}{V} \quad [\text{sec}]$$

【0058】

ここで、制御光2の照射角度(入射角)を θ 、光速をc(m/s)とすると、スリットSLの移動速度Vは下記式で表される。この式から分かるように、制御光の照射角度 θ を適宜変更することによって、タイミング検出の時間分解能を更に調整することができる。

【0059】

【数2】

$$V = \frac{c}{\sin \theta} \quad [\text{m/sec}]$$

【0060】

従って、上記の時間tは下記式で表される。

【0061】

【数3】

$$t = \frac{X \sin \theta}{c} \quad [\text{sec}]$$

【0062】

即ち、スリットSLによって、信号光1の光パルスの到達時間差は光検出器40の画素の位置座標の差に変換される。従って、光検出器40で得られた位置情報から、逆に、信号光1の光パルスの到達時間差を求めることができる。上述した通り、光スイッチ30の各光シャッター部は、フェムト秒オーダーの制御光パルスでオンオフ動作させることができるので、フェムト秒オーダーの時間分解能で信号光1の光パルスの到達時間差を求めることができる。従って、光パルスまたはパルス列にタイミングゆらぎが発生している場合にも、このタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で検出することができる。また、複雑な演算を行わないため、リアルタイムでタイミングゆらぎを検出することができる。

【0063】

なお、スリットSLの幅は、制御光と光パルスまたはパルス列の照射角度と時間幅、スイッチのオン・オフ速度によって決定される。

【0064】

(第2の実施の形態)

[タイミング検出装置の全体構成]

第2の実施の形態に係るタイミング検出装置では、図5に示すように、透過型の光スイッチ30が、その長さ方向が信号光1の進行方向に対して所定角度(図5では、45°)傾けて配置されている。この配置により、光スイッチ30の長さ方向に所定幅Wの広がりをもつ制御光2を、その所定幅Wに渡って光スイッチ30に垂直に入射させると共に、信号光1を、その進行方向を光スイッチ30の長さ方向に対して傾けて、所定幅Wに渡って光スイッチ30に入射させる。

【0065】

なお、図5では、制御光2を信号光1の出射側から光スイッチ30に入射させているが、制御光2を信号光1の入射側から光スイッチ30に入射させてもよい。

。また、第1の実施の形態と同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0066】

[光スイッチのシャッター機能]

次に、光スイッチ30のシャッター機能について説明する。図5に示す装置では、第1の実施の形態と同様に、互いに独立した光シャッター部として機能する複数の領域 $W_p \sim W_u$ を備えた透過型の光スイッチ30を用いているが、制御光2を光スイッチ30に垂直に入射させるので、複数の領域 $W_p \sim W_u$ は同時に透過状態となる。

【0067】

図6(A)に示すように、制御光パルス2aが光スイッチ30の各領域 $W_p \sim W_u$ を同時に照射し、同時に透過状態にする。そして、図示するように、信号光パルス1A～1Fが光スイッチ30の対応する領域 $W_p \sim W_u$ に同時に到達する時点で、制御光パルス2aが光スイッチ30の各領域 $W_p \sim W_u$ に到達するように、制御光2を信号光1に対して同期させる。

【0068】

従って、制御光パルス2aが光スイッチ30の各領域 $W_p \sim W_u$ に到達した時点で、信号光パルス1Aの空間位置部分1pが領域 W_p を、信号光パルス1Bの空間位置部分1qが領域 W_q を、信号光パルス1Cの空間位置部分1rが領域 W_r を、信号光パルス1Dの空間位置部分1sが領域 W_s を、信号光パルス1Eの空間位置部分1tが領域 W_t を、信号光パルス1Fの空間位置部分1uが領域 W_u を、それぞれ透過して、図6(B)に示すように、それぞれ出力光パルス3Ap, 3Bq, 3Cr, 3Ds, 3Et, 3Fuとして切り出される。そして、この出力光パルス3Ap～3Fuが、光素子40の対応する画素で検出される。

【0069】

即ち、この光スイッチ30では、光スイッチ30の複数の領域 $W_p \sim W_u$ が同時に制御光2と交差して透過状態とされ、これら領域 $W_p \sim W_u$ が透過状態となったときに光スイッチ30に到達した信号光パルス1A～1Fの空間位置部分が切り出される。

【0070】

なお、図5、図6（A）及び図6（B）では一部を省略したが、信号光1は信号光パルス1A～1Fの組がシリアルに連続するもので、光スイッチ30からは、図6（C）に示すように、出力光パルス3Ap～3Fuの組が連続して切り出される。但し、同図は、出力光パルス3Ap～3Fuの空間的位置関係を示したもので、時間的には、出力光パルス3Ap～3Fuの一組が同時に切り出され、 $N=6$ の場合には信号光パルスの時間間隔の6倍の時間後に、出力光パルス3Ap～3Fuの次の一組が同時に切り出される。

【0071】

[タイミング検出装置の動作]

次に、タイミング検出装置の動作について説明する。

【0072】

制御光2を、その所定幅 W に渡って光スイッチ30に垂直に入射させると共に、信号光1を、その進行方向を光スイッチ30の長さ方向に対して傾けて、所定幅 W に渡って光スイッチ30に入射させる。

【0073】

但し、信号光パルス1Aが領域 W_p のみから、信号光パルス1Bが領域 W_q のみから、というように、信号光パルス1A～1Fが、光スイッチ30の対応する領域 $W_p \sim W_u$ のみから、空間的に分離されて切り出されるように、制御光パルス2aの時間幅は、信号光1の広げられた波面方向の、領域 $W_p \sim W_u$ に対応する空間位置部分1p～1uの、領域 $W_p \sim W_u$ までの光路長の違いによる、領域 $W_p \sim W_u$ への到達時間の差より十分短くする。

【0074】

即ち、図5のように光スイッチ30を信号光1に対して 45° 傾ける場合には、制御光パルス2aの時間幅を信号光パルスの時間間隔より十分短くする。即ち、光スイッチ30の光シャッター部は微小時間間隔で開閉される。例えば、信号光パルスの時間幅が、時間間隔（1ps）の $1/10$ の100fs（フェムト秒）であれば、制御光パルス2aの時間幅は、信号光パルスのそれと同程度か、それより若干短くすればよい。

【0075】

上述した通り、信号光パルス 1 A の空間位置部分 1 p、信号光パルス 1 B の空間位置部分 1 q、信号光パルス 1 C の空間位置部分 1 r、信号光パルス 1 D の空間位置部分 1 s、信号光パルス 1 E の空間位置部分 1 t、信号光パルス 1 F の空間位置部分 1 u が、それぞれ出力光パルス 3 A p、3 B q、3 C r、3 D s、3 E t、3 F u として切り出される。

【0076】

次に、出力光パルス 3 A p ～ 3 F u の各々が、光検出器 40 の対応する画素で順次検出される。光検出器 40 は、出力光パルス 3 A u ～ 3 F p を検出した画素の位置情報をタイミング演算部 100 に出力する。

【0077】

次に、タイミング演算部 100 は、入力された位置情報から、出力光パルス 3 A u ～ 3 F p を検出した画素の位置座標を算出する。既に説明した通り、光検出器 40 の各画素は、信号光 1 の各空間位置部分 1 p ～ 1 u の光路上に位置するように配置されており、検出した画素の位置情報から信号光 1 が光スイッチ 30 を通過した位置を特定することができる。この関係に基づいて、検出した画素の位置座標から、信号光パルス 1 A ～ 1 F が光スイッチ 30 の対応する領域 W p ～ W u へ到達するタイミングを演算する。即ち、信号光 1 の光パルスタイミング（パルス列の時間差）を検出する。

【0078】

[タイミングの演算]

次に、図 7 (A) 及び図 7 (B) を参照して、上記のタイミング演算部 100 で実施されるタイミングの演算方法について説明する。

【0079】

光スイッチ 30 の長さ方向に配列された複数の領域 W p ～ W u は同時に制御光 2 と交差して透過状態とされるが、このシャッター動作は、図 7 (B) に示すように、信号光 1 の進行方向と直交する方向にスリット部 S L が移動する場合と同等である。ここで、信号光 1 の光スイッチ 30 への入射角度（即ち、光スイッチ 30 の傾斜角度）を θ_1 、光速を c (m/s) とすると、スリット S L の移動速度 V_1 は下記式で表される。この式から分かるように、光スイッチ 30 の傾斜角

度 θ_1 を適宜変更することによって、タイミング検出の時間分解能を調整することができる。

【0080】

【数4】

$$V_1 = \frac{c}{\tan \theta_1} \quad [\text{m/sec}]$$

【0081】

光検出器 40 において最初の出力光パルス 3 A p が検出された画素の位置座標を原点とし、次の出力光パルス 3 B q が検出された画素の位置座標を X_1 (m) とすると、信号光パルス 1 A と信号光パルス 1 B とのパルス間隔 t_1 は下記式で表される。

【0082】

【数5】

$$t_1 = \frac{X_1 \tan \theta_1}{c} \quad [\text{sec}]$$

【0083】

即ち、スリット S L によって、信号光 1 の光パルスの到達時間差は光検出器 40 の画素の位置座標の差に変換される。従って、光検出器 40 で得られた位置情報から、逆に、信号光 1 の光パルス列のパルス間隔を求めることができる。上述した通り、光スイッチ 30 の各光シャッター部は、フェムト秒オーダーの制御光パルスでオンオフ動作させることができるので、フェムト秒オーダーの時間分解能で信号光 1 の光パルス列のパルス間隔を求めることができる。従って、光パルスまたはパルス列にタイミングゆらぎが発生している場合にも、このタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で検出することができる。また、複雑な演算を行わないため、リアルタイムでタイミングゆらぎを検出することができる。

【0084】

以下、上記実施の形態の変形例について説明する。

[反射型光スイッチを備えた装置]

上記の実施の形態では、透過型の光スイッチを用いる例について説明したが、以下に説明するように、反射型の光スイッチを用いることもできる。

【0085】

例えば、図8に示すように、反射型の光スイッチを用いて、これに信号光を斜めに入射させ、制御光を垂直に入射させる場合である。この例では、第2の実施形態と同様に、光スイッチ30は、その長さ方向を信号光1の進行方向に対して 45° 傾けて、信号光1の光路上に配置されている。反射型の光スイッチ30は、制御光2が照射されるか否かにより屈折率が変化し且つ緩和時間が短い非線形光学材料によって形成されており、制御光2が照射された瞬間だけ干渉により反射状態となって信号光1を所定値以上の反射率で反射する。また、信号光1が光スイッチ30で反射した後の位置には、多数の画素が1次元状又は2次元状に配列された光検出器40が、その各画素が信号光1の各空間位置部分1p~1uの反射光を受けるように配置されている。その他は、第2の実施形態と同じであるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0086】

また、例えば、図9(A)及び図9(B)に示すように、反射型の光スイッチを用いて、これに信号光を垂直に入射させ、制御光を斜めに入射させる場合である。なお、図9(A)及び図9(B)は、互いに直交する方向から見た図である。この例では、第1の実施形態と同様に、光スイッチ30の長さ方向を信号光1の進行方向に対して垂直にして、光スイッチ30を信号光1の光路上に配置するが、その光スイッチ30は反射型のものとし、信号光1を、ハーフミラー50を介して光スイッチ30の反射面側に入射させるとともに、制御光2を、その進行方向を光スイッチ30の長さ方向に対して傾けて、光スイッチ30の反射面側から光スイッチ30に入射させる。そして、信号光1が光スイッチ30で反射し、さらにハーフミラー50で反射した後の位置に、光検出器40を、その各画素が信号光1の各空間位置部分1u~1pの反射光を受けるように配置する。その他は、第1の実施形態と同じであるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0087】

なお、ハーフミラー50を用いなくて、図9(B)において一点鎖線で示すように、光スイッチ30に入射する信号光1と、光スイッチ30から反射する出力光3との間に、角度を持たせるようにしてもよい。

【0088】

[シャッターアレイ]

上記の実施の形態では、光シャッター部として機能する複数の領域が長さ方向に1次元状に配列された長尺状の光スイッチを用いる例について説明したが、光シャッター部として機能する複数の領域が2次元状に配列された光スイッチ（シャッターアレイ）を用いることもできる。この場合、各光シャッター部の開閉タイミングを、シャッターアレイ内の空間的位置によって異ならせる必要がある。例えば、空間変調素子で変調した制御光を光スイッチに照射することで、各光シャッター部の開閉タイミングを異ならせることができる。

【0089】

[カー効果利用のスイッチ]

上記の実施の形態では、非線形光学材料の過飽和吸収を利用してオンオフ動作を行う光スイッチを使用する例について説明したが、特開2002-258333号公報に記載されているように、制御光によって偏光面が回転する光カー効果を利用してオンオフ動作を行う光スイッチを用いることもできる。この場合は、光スイッチの前後に偏光子を直交させて配置することにより、一次元光検出器でのバックグラウンド（ノイズ）を抑制することができる。

【0090】

[画像処理後の画像からの位置情報抽出]

上記の実施の形態では、出力光を検出した画素の位置情報を光検出器からタイミング演算部に直接入力して光パルスのタイミングを演算する例について説明したが、信号光パルスが光検出器の複数の画素にまたがって受光される状況において、各画素の出力信号を基にして、重心検出等の信号処理を施すことにより、出力光の位置情報を抽出し、これに基づいて光パルスのタイミングを演算してもよい。これにより、サブピクセルの分解能で出力信号のタイミングを検出することができる。

【0091】**[結像倍率]**

上記の実施の形態では、光スイッチからの出力光を光学系を介さずに光検出器に入力する例について説明したが、光スイッチと光検出器との間に拡大光学系または縮小光学系を配置することもできる。光検出器における検出座標の倍率を変更することによって、タイミング検出の時間分解能とダイナミックレンジを変えることができる。例えば、光検出器の分解能を a とすると、光スイッチと光検出器との間に結像倍率が n 倍となる光学系を設置した場合には、光検出器の分解能は a/n 倍となる。

【0092】**【実施例】**

以下、具体的な実施例を挙げて、本発明を更に詳細に説明する。

(実施例1)

本実施例では、図1に示した構成を備えたタイミング検出装置を用いてタイミング調整装置を構成し、被検出光パルスである信号光パルスの到達タイミングを調整した。

【0093】

このタイミング調整装置は、図10に示すように、制御光2のパルス列を発生させる制御光発生光源200と、信号光1のパルス列を発生させる信号光発生光源202と、信号光1のパルス列の到着タイミングを検出するタイミング検出装置206と、を備えている。タイミング検出装置206は、上述した通り、光スイッチ30と、光スイッチ30から出射された出力光を検出する光検出器40と、光検出器40での検出結果に基づいて信号光パルスの光スイッチ30への到達タイミングを演算するタイミング演算部100と、を備えている。

【0094】

上記の信号光発生光源202と光スイッチ30との間には、タイミング演算部100の演算結果（検出結果）に基づいて、信号光1のパルス列の到達タイミングを遅延させる光可変遅延装置204が配置されている。また、タイミング演算部100には、演算結果を表示するためのモニタ214が接続されている。

【0095】

このタイミング調整装置では、タイミング検出装置206に、信号光発生光源202から信号光1のパルス列が入力されて、光パルス列の到達タイミングが演算される。タイミング検出装置206は、この演算結果を光可変遅延装置204に入力する。光可変遅延装置204は、検出された到達タイミングから所望の到達タイミングを補償するための遅延時間を演算し、演算した遅延時間が達成されるように信号光発生光源202から光スイッチ30までの光路長を変化させ、光パルス列の到着タイミングを調整する。このように、タイミング検出装置206の演算結果を光可変遅延装置204に随時フィードバックすることで、リアルタイムで光パルスタイミングを調整できる。

【0096】

上記の構成において、波長760nm、平均パワー1.4mW、パルス幅約100fsの信号光1と、信号光1と同期した波長800nm、平均パワー230mW、パルス幅約100fsの制御光2とを用い、光スイッチ30の機能性薄膜にはスクエアリリウム色素J-会合体色素膜を用い、光検出器としてCCDカメラを使用して、到着タイミングを0fs~700fsの間で変化させたときのCCDカメラの画素の位置座標の変化を調べた。検出値(◇点)をプロットした結果を、図11に示す。

【0097】

図11に示すように、到着タイミングのずれ量(遅延時間)は画素の位置座標差に比例して増加するので、この図11から、所定の基準時間に相当するCCDの画素を定めた際に、基準時間に相当する画素と光パルス列を検出した画素との差から、基準時間と光パルスまたはパルス列時間とのずれ量が検出できる。この例では、CCDカメラの1画素分が約16fsに相当する。

【0098】

なお、光スイッチ30とCCDカメラとの間に、結像倍率が1/2となるように光学系を配置した場合には、◆点で示すプロットになる。この場合、CCDカメラの1画素分が約30fsに相当する。即ち、結像倍率が高い方が、時間分解能が向上し、より微小なタイミングのずれ量を検出できる。但し、CCDの画

素数が同様であれば、結像倍率を大きくすることによって、ダイナミック・レンジは減少する。

【0099】

(実施例2)

本実施例では、実施例1のタイミング調整装置(図10参照)を用いて、被検出光パルスである信号光パルスの時間的なゆらぎを補正した。図12に示すように、光パルス列が、周期的に繰り返される時間的なゆらぎを有している場合がある。この場合、CCDカメラの画像でも、照射スポットが空間的にゆらいでいる様子が観測される。

【0100】

実施例1と同様に、タイミング検出装置206の演算結果を光可変遅延装置204に随時フィードバックすることで、リアルタイムで光パルスタイミングを調整することができる。具体的には、タイミング演算部100で所定の光パルスを検出した画素の位置座標を演算し、演算された位置座標を光可変遅延装置204に入力する。光可変遅延装置204は、所定の光パルスの検出画素が任意の位置座標に留まるように光パルスの遅延時間を演算し、演算した遅延時間が達成されるように信号光発生光源202から光スイッチ30までの光路長を変化させ、光パルス列の到着タイミングを調整する。これによって、図12に示すように、光パルス列が、振幅約300fs、周波数0.2Hzで周期的に繰り返される時間的なゆらぎを有している場合でも、補正を行うことで時間的なゆらぎの振幅が1/6程度に抑えることができる。なお、◆点のプロットが補正前のタイミングゆらぎを表し、◇点のプロットが補正後のタイミングゆらぎを表す。

【0101】

(実施例3)

本実施例では、図1に示した構成を備えたタイミング検出装置を用いてタイミング調整装置を構成し、信号光パルス列A及び信号光パルス列Bが同時に光スイッチに到達するように到達タイミングを調整した。

【0102】

このタイミング調整装置は、図13に示すように、制御光2のパルス列を発生

させる制御光発生光源 200 と、信号光パルス列 A を発生させる信号光発生光源 202 A と、信号光パルス列 B を発生させる信号光発生光源 202 B と、タイミング検出装置 206 と、を備えている。信号光パルス列 A と信号光パルス列 B とは、多重化されて信号光 1 として光スイッチ 30 に入力される。

【0103】

上記の信号光発生光源 202 A と光スイッチ 30 との間には、タイミング演算部 100 の演算結果（検出結果）に基づいて、信号光パルス列 A の到達タイミングを遅延させる光可変遅延装置 204 が配置されている。その他は、図 10 に示すタイミング調整装置と同じ構成であるため、同じ構成部分には同一符号を付して説明を省略する。

【0104】

このタイミング調整装置では、タイミング検出装置 206 に、信号光発生光源 202 A から信号光パルス列 A が入力され、信号光発生光源 202 B からは信号光パルス列 B が入力されて、各信号光パルス列の到達タイミングが演算される。タイミング検出装置 206 は、この演算結果を光可変遅延装置 204 に入力する。光可変遅延装置 204 は、検出された信号光パルス列 B の到達タイミングに、信号光パルス列 A の到達タイミングを一致させるための信号光パルス列 A の遅延時間を演算し、演算した遅延時間が達成されるように信号光発生光源 202 A から光スイッチ 30 までの光路長を変化させ、光パルス列 A の到着タイミングを調整する。このように、タイミング検出装置 206 の演算結果を光可変遅延装置 204 に随時フィードバックすることで、リアルタイムで光パルスタイミングを調整できる。

【0105】

図 14 に示すように、光パルス列 B が、振幅約 300 fs、周波数 0.2 Hz で周期的に繰り返される時間的なゆらぎを有している場合に、補正を行うことで光パルス列 A と光パルス列 B の時間差、すなわちスキューを低減することができる。なお、◆点のプロットが光パルス列 A の時間的なゆらぎを表し、◇点のプロットが光パルス列 B の時間的なゆらぎを表す。

【0106】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の光パルスタイミング検出装置及び光パルスタイミング検出方法によれば、光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で且つリアルタイムに検出することができる、という効果がある。

【0107】

また、本発明の光パルスタイミング調整装置及び光パルスタイミング調整方法によれば、光パルスまたはパルス列のタイミングをフェムト秒オーダーの時間分解能で且つリアルタイムに調整することができる、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施の形態に係るタイミング検出装置の構成を示す図である。

【図2】 (A) ~ (D) は、図1に示すタイミング検出装置における光スイッチのシャッター機能を説明する説明図である。

【図3】 透過型の光スイッチの具体的構成を表す断面図である。

【図4】 タイミングの演算方法を説明するための図である。

【図5】 第2の実施の形態に係るタイミング検出装置の構成を示す図である。

【図6】 (A) ~ (C) は、図5に示すタイミング検出装置における光スイッチのシャッター機能を説明する説明図である。

【図7】 タイミングの演算方法を説明するための図である。

【図8】 反射型の光スイッチを用いたタイミング検出装置の1例を示す図である。

【図9】 反射型の光スイッチを用いたタイミング検出装置の他の例を示す図である。

【図10】 実施例1に係るタイミング調整装置の構成を示す図である。

【図11】 光パルスの到着タイミングのずれ量と画素の位置座標差との関係を示すグラフである。

【図12】 時間的なゆらぎを有する光パルス列が補正される様子を示すグラフである。

【図13】 実施例3に係るタイミング調整装置の構成を示す図である。

【図 1 4】 2 種類の光パルス列の時間的なゆらぎが補正により一致する様子を示すグラフである。

【図 1 5】 超高速 OTDM 技術の課題を示すための図である。

【符号の説明】

1 信号光

1 A ~ 1 F 信号光パルス

1 p ~ 1 u 空間位置部分

2 制御光

2 a 制御光パルス

3 出力光

3 A p ~ 3 F u, 3 A u ~ 3 F p, 3 a 出力光パルス

1 0 光導波路

2 0 光学系

3 0 光スイッチ

W p ~ W u 領域

3 2 機能性薄膜 (ベース層)

3 3 遮光層

3 4 光シャッタ部

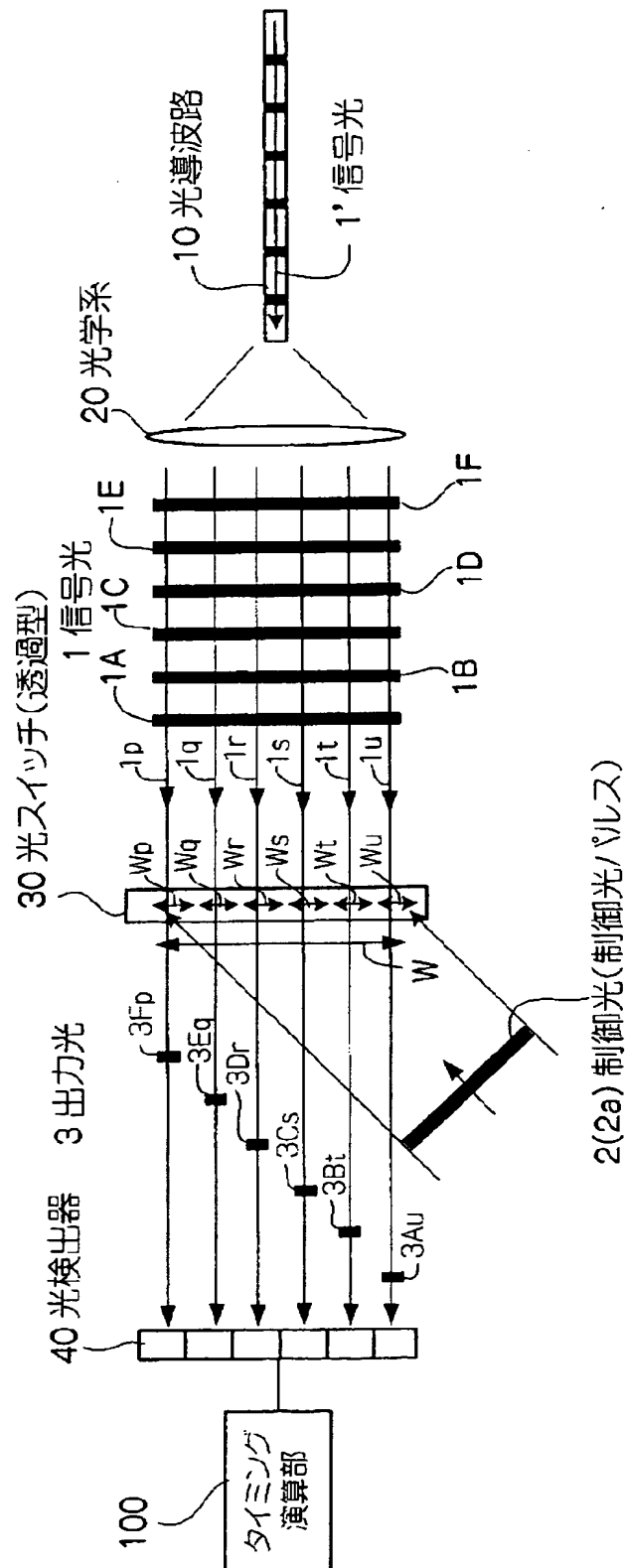
4 0 光検出器

1 0 0 タイミング演算部

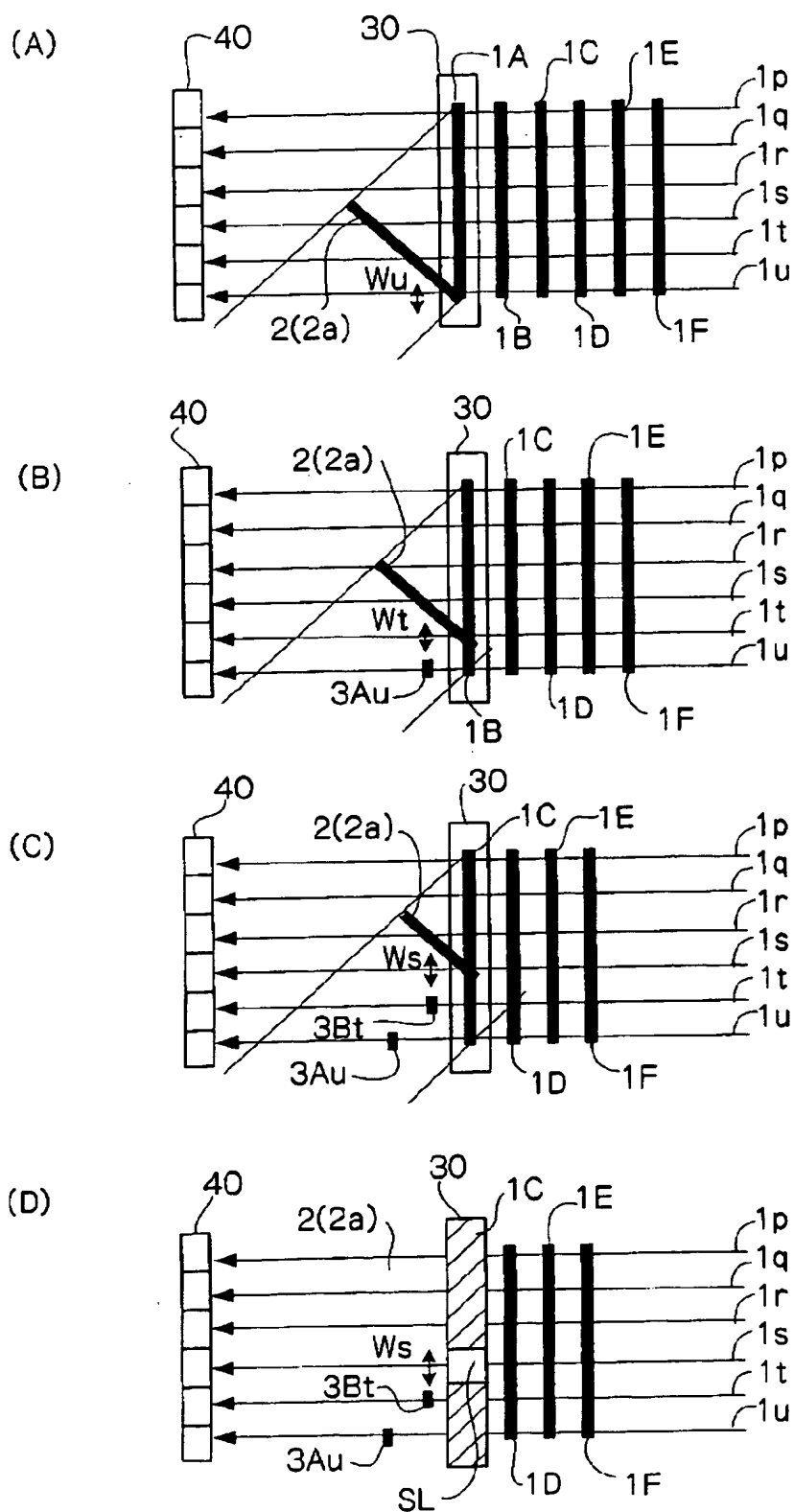
【書類名】

図面

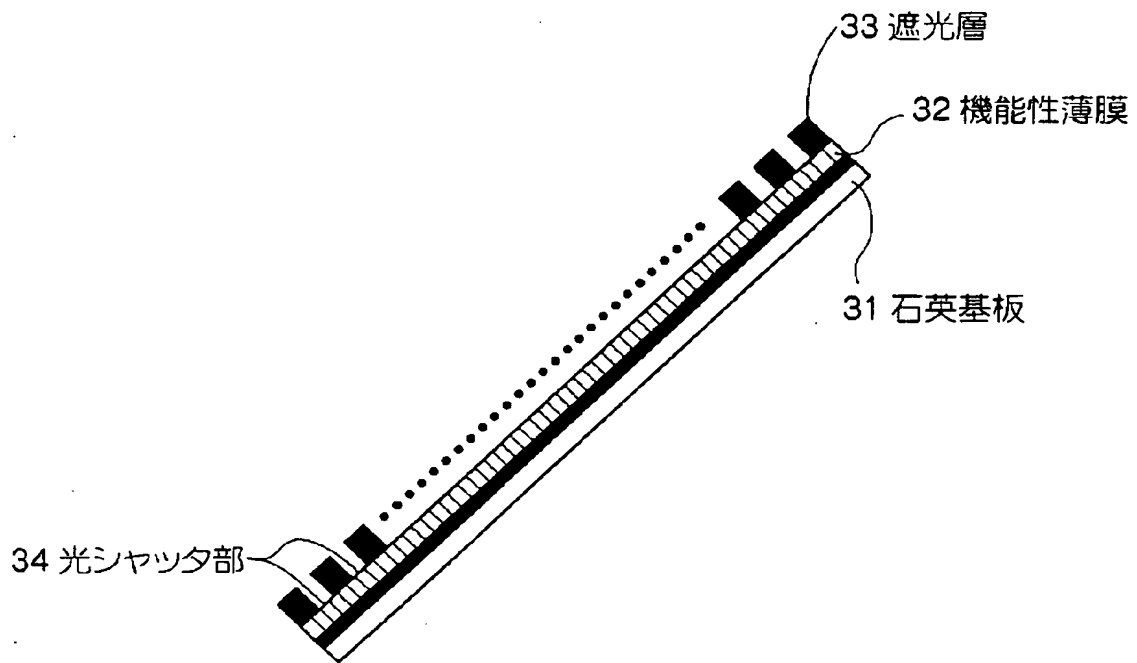
【図 1】



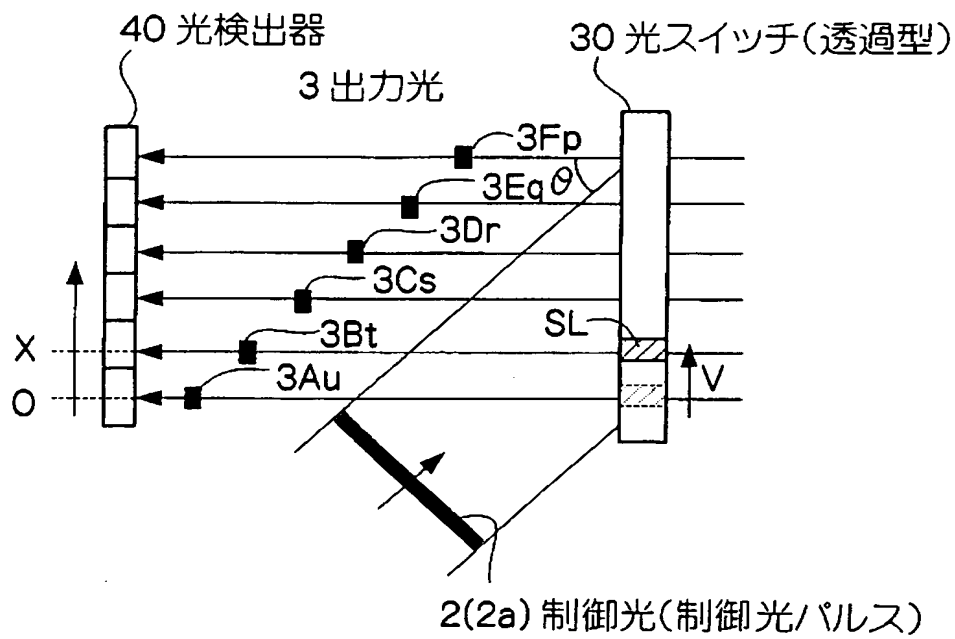
【図 2】



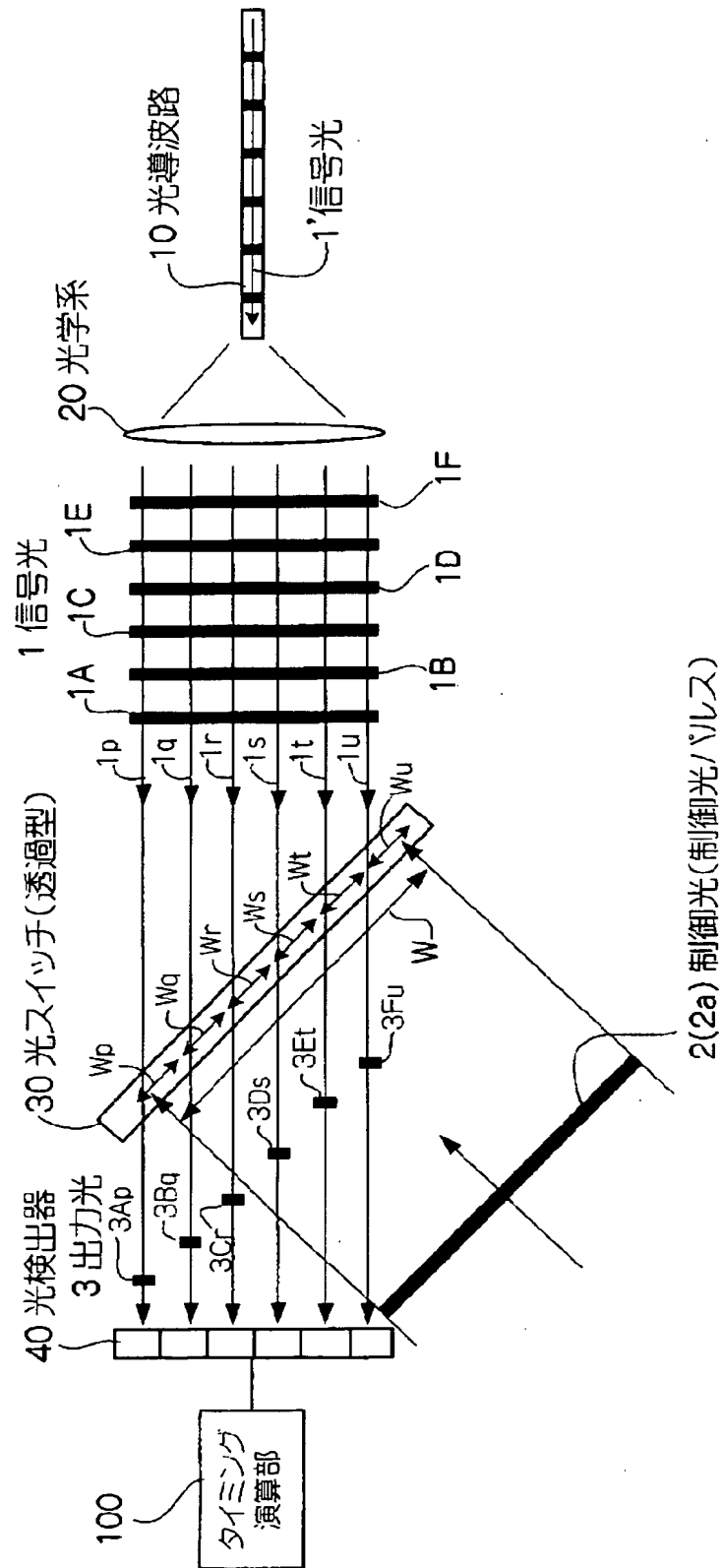
【図 3】



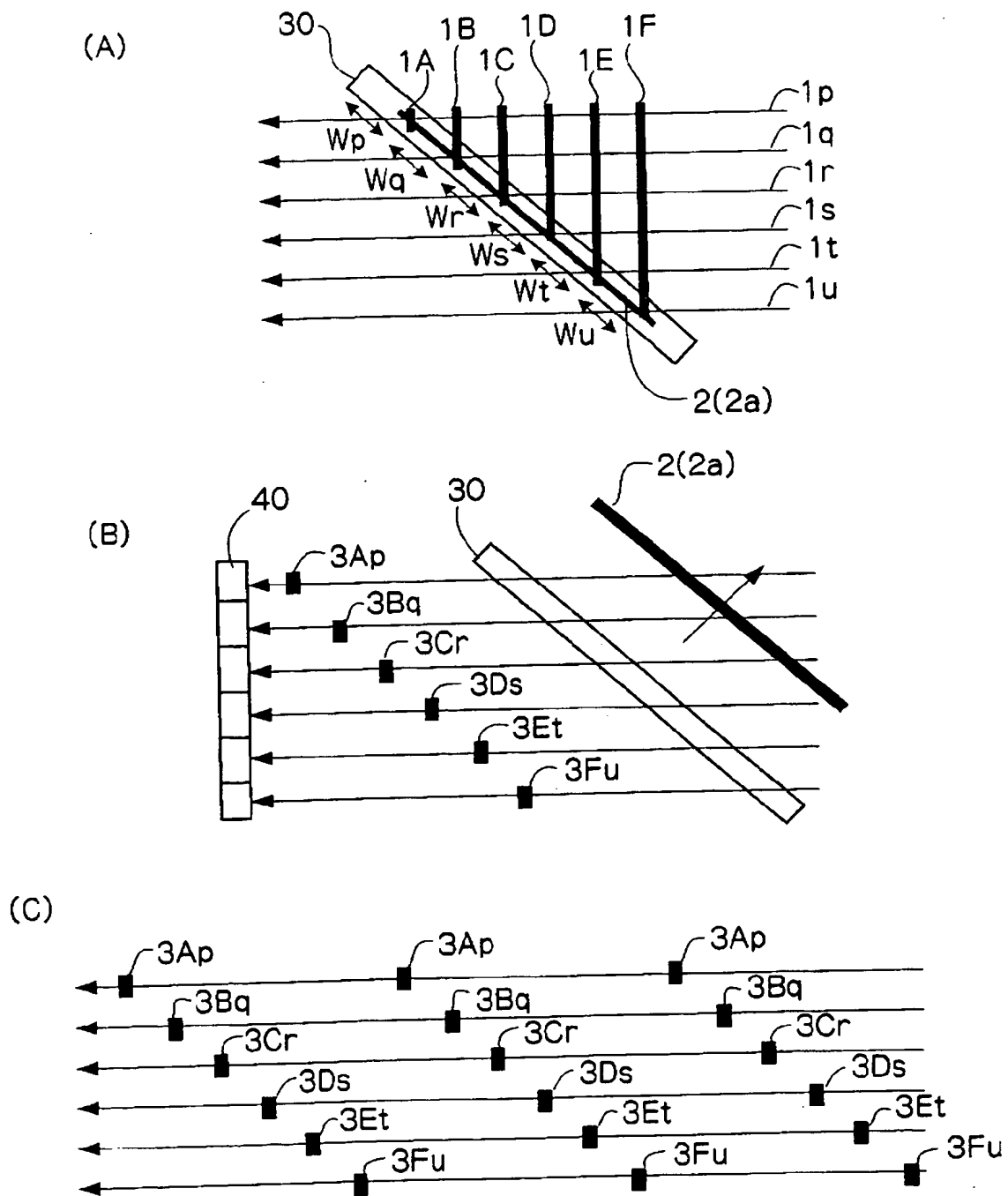
【図 4】



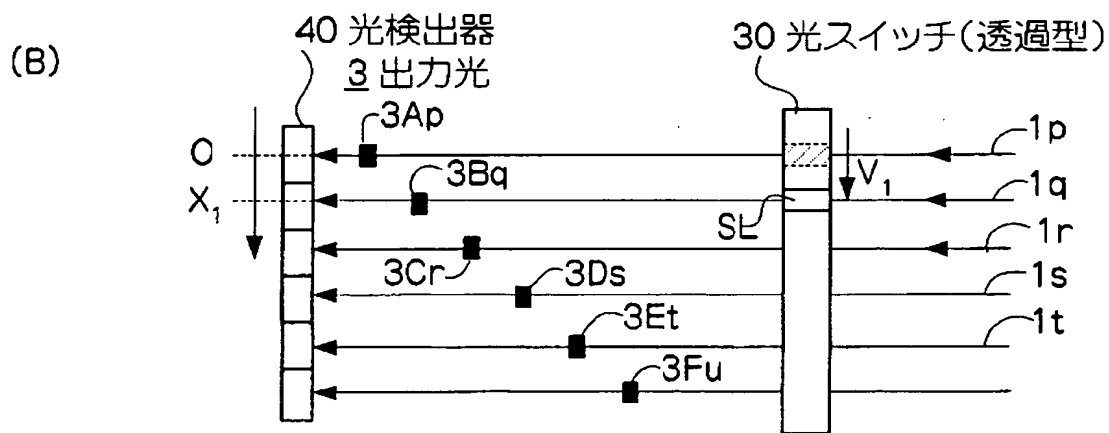
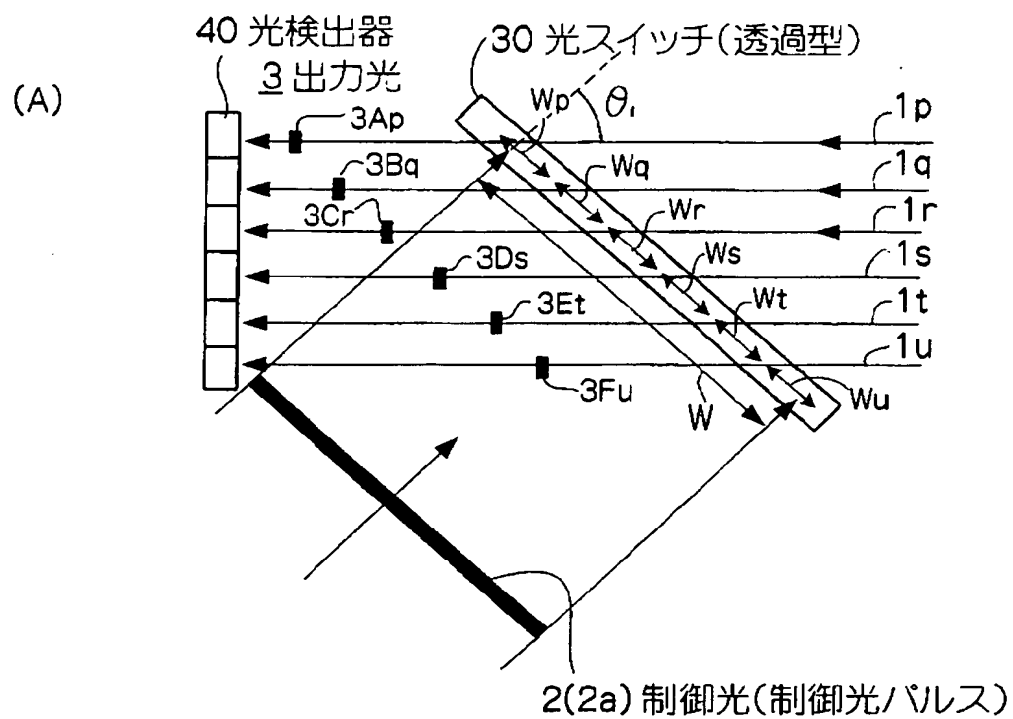
【図 5】



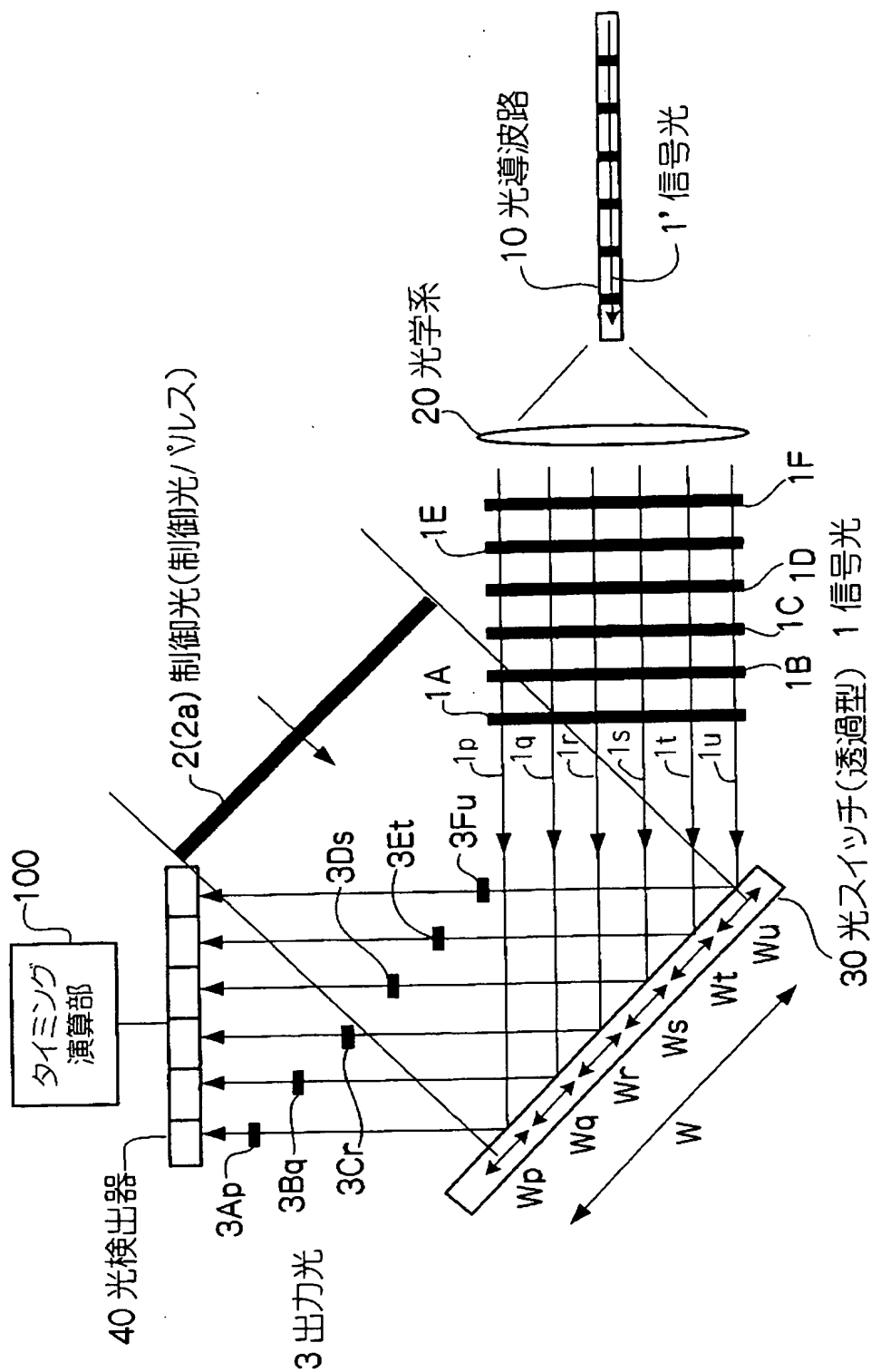
【図 6】



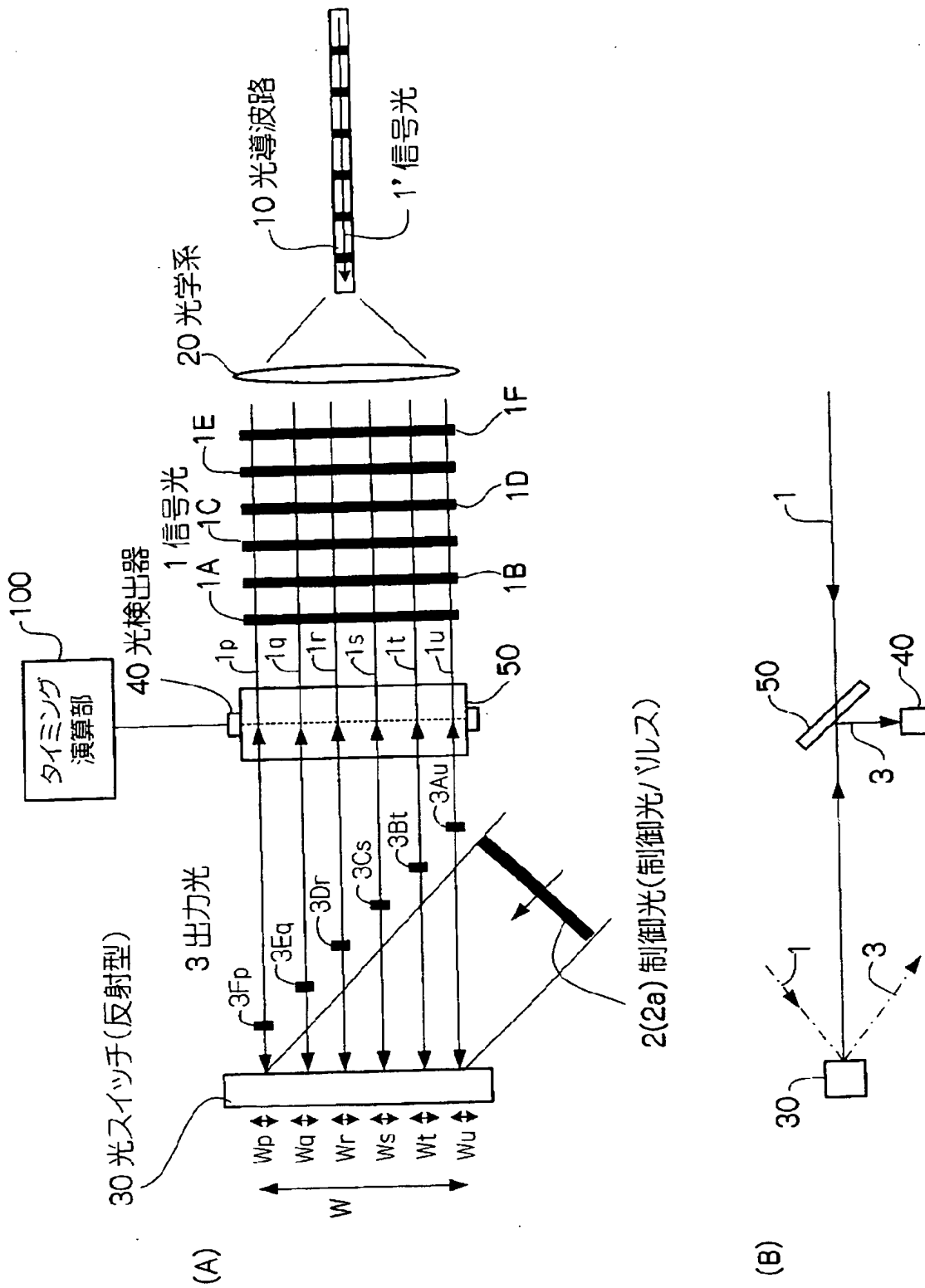
【図 7】



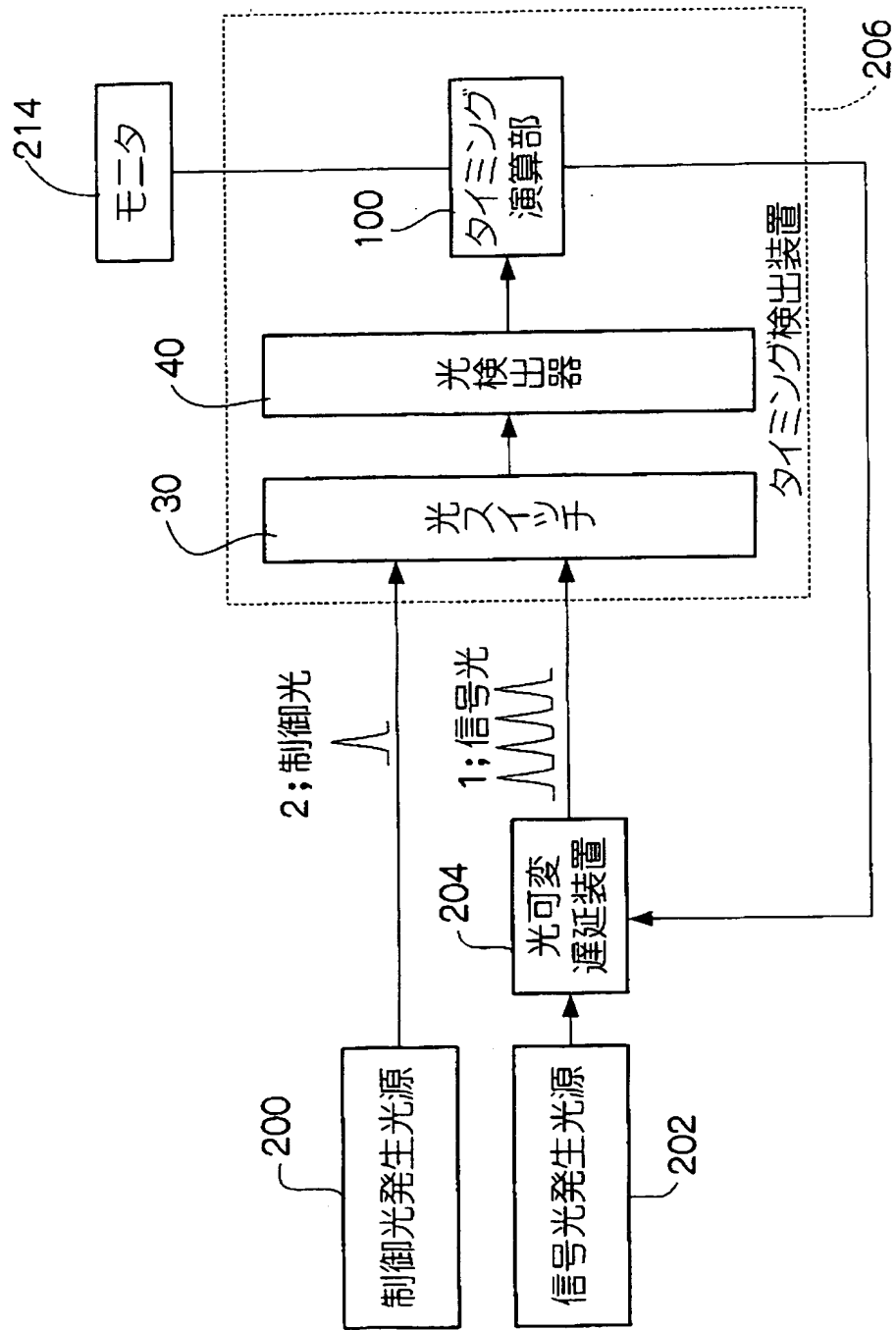
【図 8】



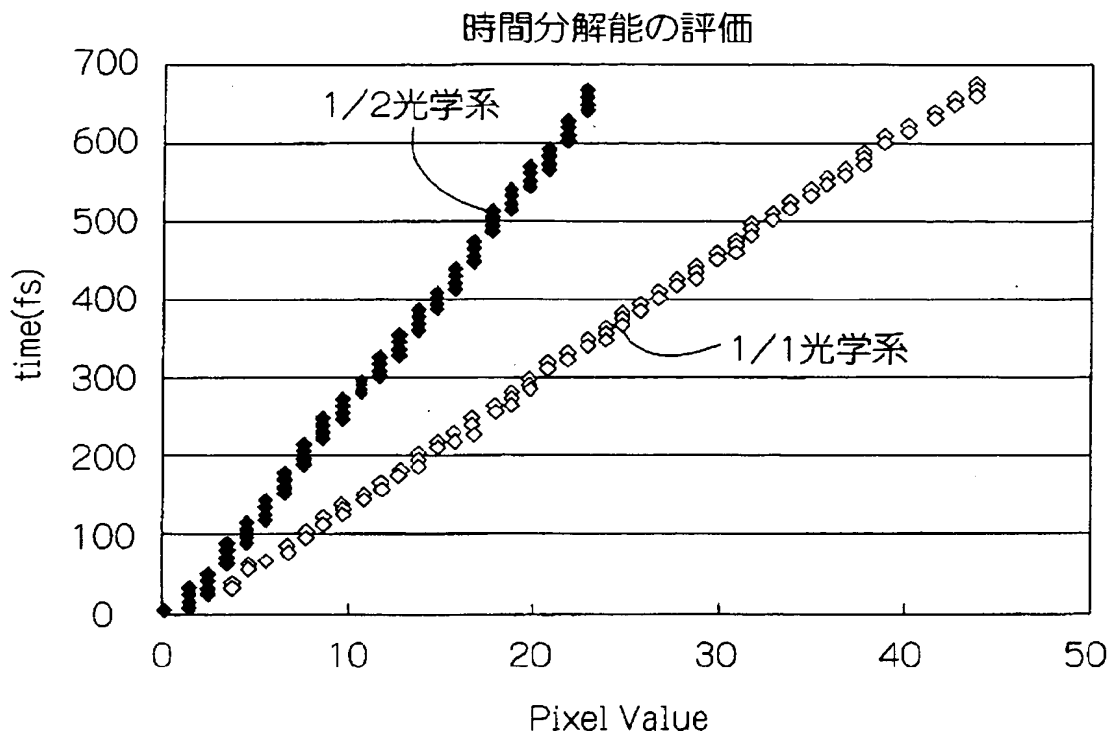
【図9】



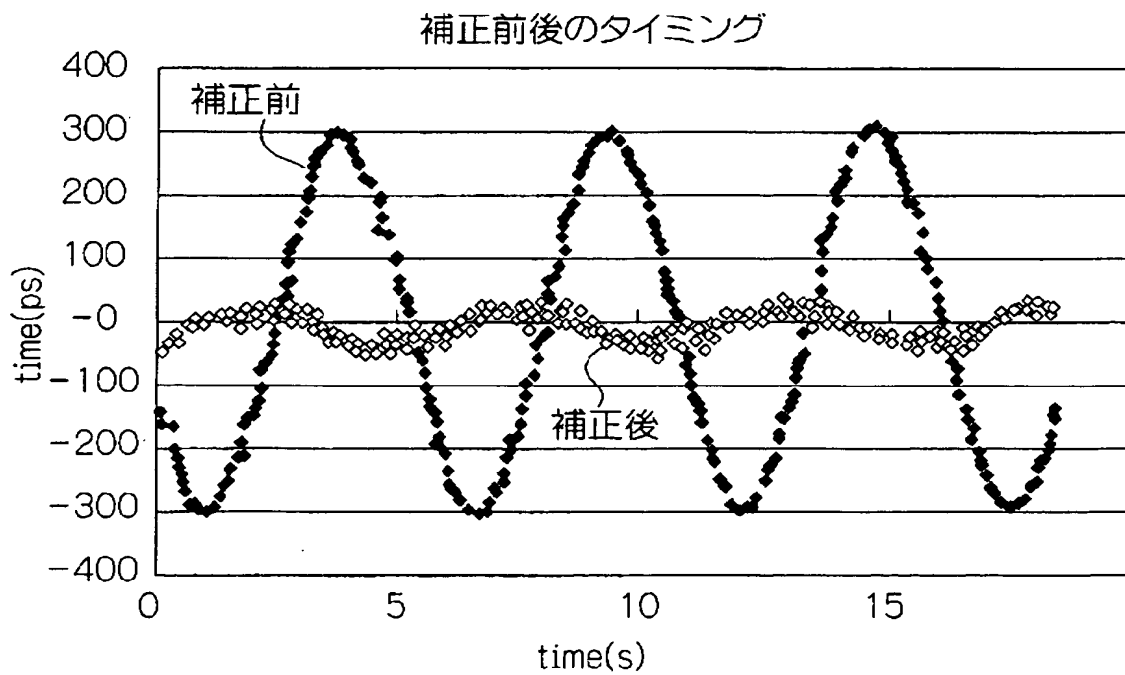
【図 10】



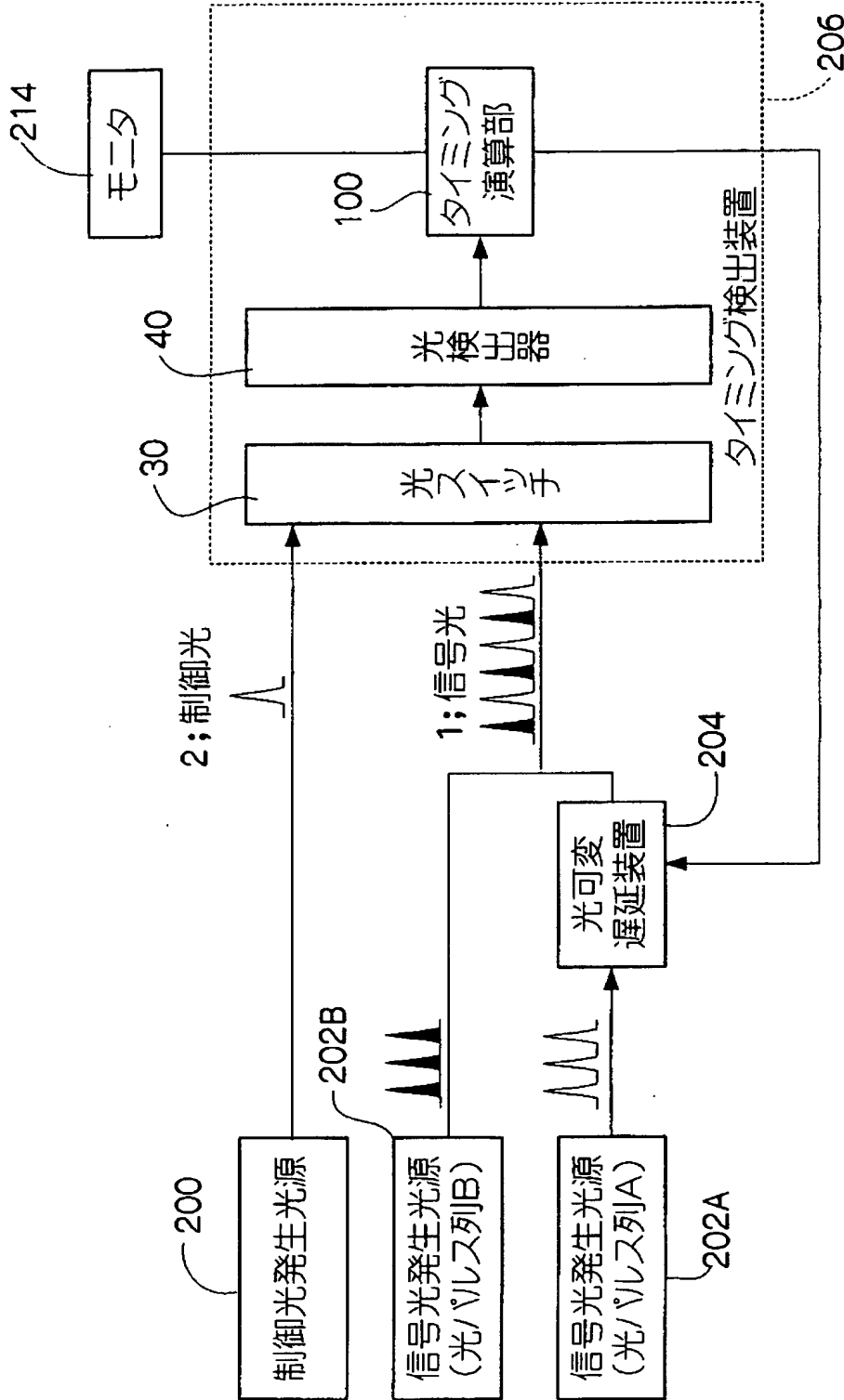
【図 1 1】



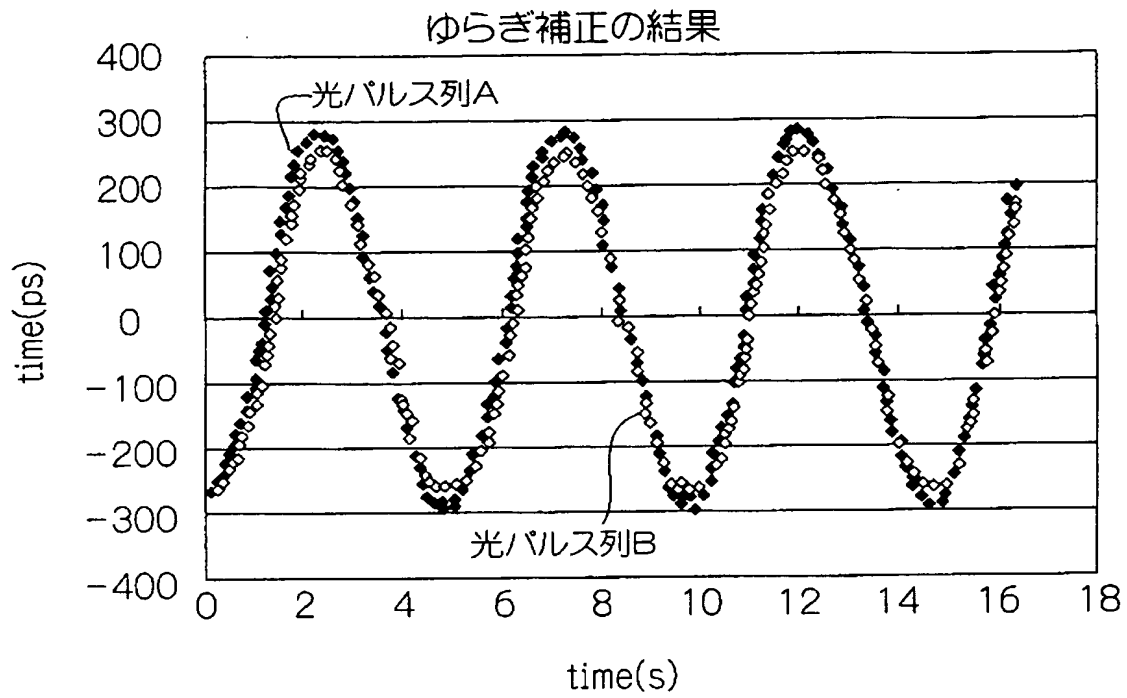
【図 1 2】



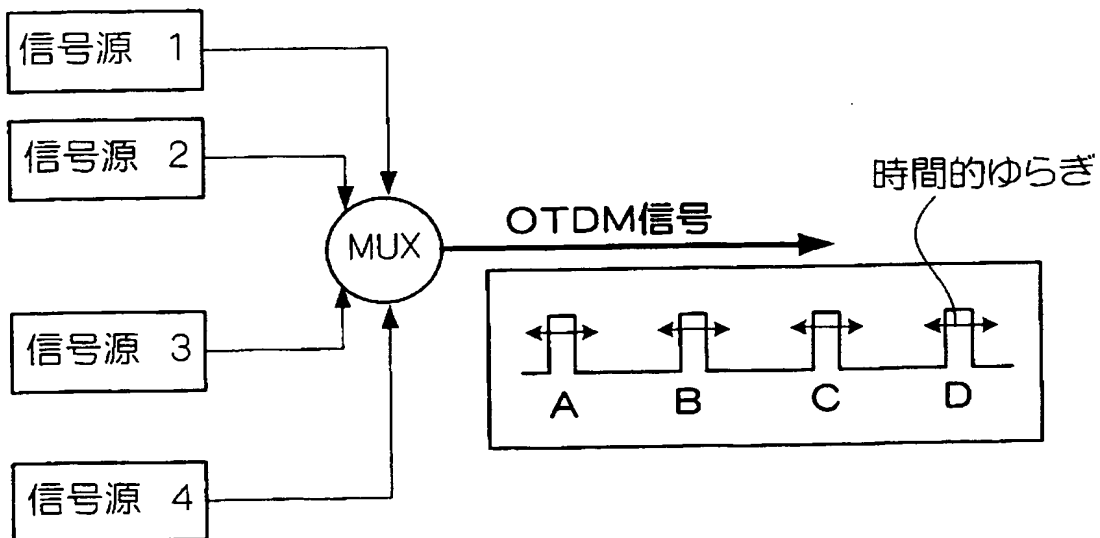
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光パルスまたはパルス列のタイミングゆらぎをフェムト秒オーダーの時間分解能で且つリアルタイムに検出することができる光パルスタイミング検出装置等を提供する。

【解決手段】 制御光パルス 2 a の照射時に照射部分にのみオン状態の領域が形成される光スイッチ 3 0 を用い、光スイッチ 3 0 に制御光パルス 2 a を照射して、入射する信号光パルス 1 A ～ 1 F をオン状態の領域で透過させて信号光パルス 1 A ～ 1 F の光路を空間的に切替える。光スイッチ 3 0 のオン状態の領域で透過された出力光パルス 3 A u ～ 3 F p を、複数の画素を備えた光検出器 4 0 の透過領域に対応する画素で検出する。タイミング演算部 1 0 0 は、光検出器 4 0 の検出結果に基づいて所定の出力光パルスを検出した画素の位置情報を取得し、この画素の位置情報とこの画素に対応する領域がオン状態にされた時刻とに基づいて、所定の信号光パルスが光スイッチ 3 0 に到達したタイミングを演算する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 4 0 0 5 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 4 9 6]

1. 変更年月日

1 9 9 6 年 5 月 2 9 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都港区赤坂二丁目 1 7 番 2 2 号

氏 名

富士ゼロックス株式会社

特願 2 0 0 2 - 3 4 0 0 5 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 1 0 2 2 4 7 1]

1 . 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都小金井市貫井北町 4 - 2 - 1

氏 名

独立行政法人通信総合研究所